

LA LUNA UN POCO MAS CERCA

Tercera parte

Juan Antonio Fernández Montaña

EA4CYQ

Este artículo pretende dar continuación a los ya publicados en esta revista en 2014 y 2015.

El título parece una ironía, pues no podemos “acercar” la Luna, para aprovecharla como un repetidor pasivo, pero si podemos minimizar las pérdidas entre ella y nosotros. En el primer artículo describí la órbita de la Luna con respecto a la tierra y las pérdidas en el camino, en el segundo artículo desgajé que tipo de antenas podemos utilizar para compensar todos los obstáculos que permitan la comunicación vía EME, y en el tercero vimos todas las piezas que componen el puzle entre la antena y el transceptor.

En esta cuarta entrega pretendo demostraros la importancia que tiene todo aquello que instalemos entre el conector de la antena y el conector de nuestros equipos, a nivel de RF. Aunque parece una obviedad os daréis cuenta de lo importante de cada detalle. Como en los artículos anteriores me centraré en la banda de 144MHz, pero es perfectamente extrapolable a otras bandas más altas y por supuesto, a una estación no enfocada a EME. Pero en EME es donde cobra importancia, pues en las comunicaciones terrestres al tener las antenas sin elevación, el ruido creado por el hombre malogra todo nuestro esfuerzo.

Todos los cálculos que mostraré están basados en el software de VK3UM, que está muy bien valorada dentro de la comunidad de EME por la exactitud de sus cálculos, al tener en cuenta casi todas las variables que nos podemos encontrar en una comunicación espacial. Además permite emular no solo las pérdidas de nuestra estación, si no calcular nuestro ECO o la señal que veremos de otra estación. Doug ha hecho un gran esfuerzo para modelar la ganancia de parábolas y el software trabaja en un gran margen de frecuencias (desde 50MHz a 47GHz). ¡Es gratis!, y lo puedes obtener en:

<http://www.vk3um.com/eme%20calculator.html>

No perdamos nuestro objetivo, no vamos a tratar de explicar las bondades de este programa, si no ver cómo afecta en nuestra estación de EME todo lo que instalamos entre la antena y el transceptor.

Antes de entrar en materia solo un apunte, la distancia media de la Luna es de 382.500Km y las pérdidas en el camino de ida y vuelta 252.1dB en 144MHz, lo que significa que cada 1 dB que mejoremos nuestra instalación, estamos acercando la Luna 1517.25Km. ¿Que os parece?.

1.- PREMISAS PARA EL CÁLCULO

Para el cálculo de pérdidas del conjunto en 144MHz voy a tener presente las premisas que relacionaré a continuación. Aunque alguno me pueda tachar de exagerado, están extraídas de los fabricantes y de la hoja de cálculo de VK3UM. La realidad siempre demuestra ser más dura que la teoría, por pérdidas en algún conector mal hecho, un cable con defecto, un relé que no pisa del todo bien, etc.

- Pérdidas de un conector N 0.02dB
- Pérdidas de un relé 0.1dB
- Pérdidas del amplificador 0.3dB (2 relés + interconexión)
- Pérdidas en el splitter 0.5dB (Hay fabricantes que incluso afirman 0.1dB)

Y estas otras consideraciones:

- La modulación será WSJT (RX BandWidth 2500Hz)
- El NF del receptor 3dB (la realidad suele ser entre 2 y 3)
- El LNA tendrá una ganancia de 20dB y un NF de 0.4dB
- Temperatura de la tierra 17°C
- Distancia de la Luna media 381.500Km
- Potencia del Ampli 450W
- La frecuencia 144MHz
- Se han elegido 4 antenas M2 9SSB, al ser una referencia conocida por todos, aunque hoy en día hay diseños más optimizados, sus características eléctricas quedan resumidas en la TABLA 5. En los esquemas solo se han dibujado dos antenas, pero es suficiente para entender el cálculo de pérdidas, pues el programa tiene en cuenta solo una de las cuatro líneas de enfase.

Con todos estos datos, se han confeccionado las Tablas 1, 2, 3 y 4, que recogen todas las pérdidas de nuestro sistema, correspondientes a los Esquemas 1, 2, 3 y 4. Solo tenemos que coger las cifras de pérdidas que hemos sumado en las tablas, e introducir los datos en las siguientes casillas:

- Pérdidas antes de LNA en "LNA Loss"
- Pérdidas entre el LNA y el receptor en "Coax Loss"
- Pérdidas en la línea de TX en "Transmission Loss"

Para comparar los resultados nos vamos a fijar en la casilla "Echo S/N". La cifra que nos aparece en esta casilla es en teoría la señal con la que recibiríamos nuestro propio eco, en condiciones óptimas, o sea sin Faraday haciendo de las suyas y sin ruido terrestre. Si con buenas condiciones recibimos nuestro eco con esta señal, es que habremos hecho el cálculo de nuestra estación correctamente.

La cifra "Echo S/N" nos da una idea de las mejoras "conjuntas" de nuestra instalación, porque en esta cifra están incluidas tanto las pérdidas de recepción como las de transmisión.



TABLA 5.- DATOS ELÉCTRICOS DE 4 ANTENAS M2 9SSB

DATOS ELÉCTRICOS DE LÍNEAS COAXIALES

<u>CABLE</u>	<u>FACTOR DE VELOCIDAD</u>	<u>PÉRDIDAS A 150 MHz</u>	<u>1/2 LONGITUD DE ONDA ELÉCTRICA</u>
LMR 400	0.83	4.95 dB/100m	86,32mm
ECOFLEX 15	0.86	3.7 dB/100m	89,44mm
CELFLEX 1/2"	0.88	2,66dB/100m	91.52mm

2.- ESQUEMA 1

Esta es la instalación habitual de una estación de 144MHz terrestre que se ha preocupado de poner un sistema radiante importante, en prestaciones es muy similar a una antena de 2x17 elementos. Se han estimado los siguientes materiales utilizados:

- Las líneas de enfase son de LMR400, se han utilizado 6 veces la longitud eléctrica de 1/2WL, dando como resultado 5.182m.
- 15m. de coaxial LMR400 entre la antena y al amplificador
- 2m. de coaxial LMR400 entre el amplificador y la emisora
- No se ha puesto LNA

Lo de no instalar LNA es habitual en las estaciones de 144MHz terrestre de alta potencia, pues el ruido terrestre es tan importante, que el LNA no suele presentar mejoría, aparte de que es una pieza que vale un dinero. En EME donde las antenas no miran hacia la tierra, si no hacia el cielo, donde hay menos ruido, el LNA es muy importante como veremos más adelante.

Con estos elementos obtenemos un "Echo S/N" de -23.55dB, que nos servirá de referencia para los cálculos posteriores. Deciros que esta estación, solo en condiciones muy buenas de poco ruido, podría escuchar su propio eco.

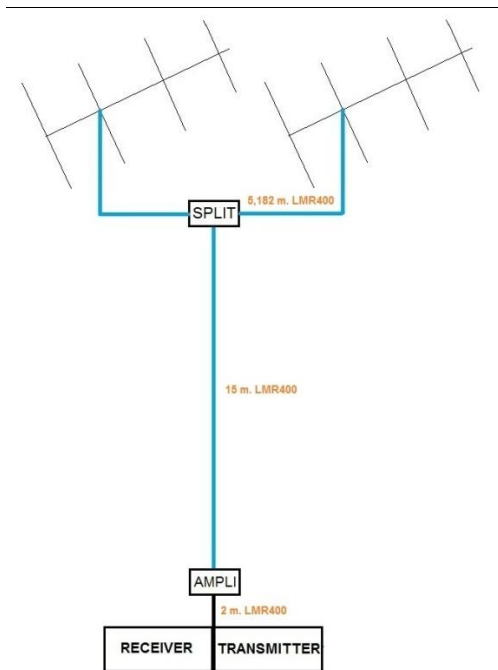


FIGURE - 1

CÁLCULO PÉRDIDAS ESQUEMA 1

1.- PÉRDIDAS ENTRE LA ANTENA Y EL RECEPTOR

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
SPLITTER	1	0,5	0,5
LMR-400	22,182	0,0495	1,09801
AMPLI	1	0,3	0,3
CONECTOR "N"	6	0,02	0,12
		TOTAL	2,018

3.- PÉRDIDAS EN LA LÍNEA DE TX (AMPLI - ANTENA)

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
SPLITTER	1	0,5	0,5
LMR-400	20,182	0,0495	0,99901
CONECTOR "N"	4	0,02	0,08
		TOTAL	1,579

VK3UM EME Performance Calculator Ver 10:09

Two Station EME Rx Performance Source Pos. Planets Sky Map Home Data

Tx A (Home Station) ESQUEMA 1

Frequency: 144 MHz | Path Loss: 251,97 dB | Reference: 300 K | Rx BW: 2500 Hz | Diam: | Mesh: | Spacing H-V: | Sys Sensitivity: -135,2 dBm | Echo S/N: -23,55 dB

GET IPS SFU DATA | Last sfu data record loaded. | Mesh: | Gnd to Cold Sky > | N/A

117 | 2,02 dB | 0,00 dB | 0,0 dB | 0,0 dB | 3,0 dB | 245 K | 5,06 dB

10.7cm | LNA Loss: | LNA Nf: | LNA Gain: | Coax Loss: | Rx Nf: | Antenna Ta: | Sun Y: | 0,00 dB

Tx A Output Power: 450 Watts | Transmission Loss: 26,53 dBW | Power at Feed: 311 Watts | 24,93 dBW | Moon Y: | 25,598 W EIRP

RxTK 631,29 K = 5,02 dB (Receiver Noise Temperature) | Ground Temperature: 290 K 17 °C | TSys 876,29 K = 6,04 dB (System Noise Temperature)

Dx Station as received at Home Station -46,39 dB

Home Station as received at Dx Station -15,95 dB

Change Moon Distance | Moon noise included | Perigee: 381.500 kms | Apogee:

CÁLCULOS ESQUEMA 1

3.- ESQUEMA 2

Hemos decidido mejorar un poco y siendo la misma instalación anterior, se ha insertado un LNA con sus dos relés de aislamiento, conectándolo con un trozo de 1m. de LMR400 al splitter. En comunicaciones terrestres no notaremos mucho la mejoría por el ruido enorme que nos rodea, pero en EME es diferente.

Solo con este detalle hemos mejorado la cifra de Echo S/N a -20.04dB. Nada más y nada menos que 3dB!. Resulta que es como si hubiéramos estado trabajando con solo dos antenas (aunque hay otros matices). Hemos mejorado en recepción, pero hemos empeorado en TX, pues al poner relés por medio ahora llegan a la antena 20W menos que antes.

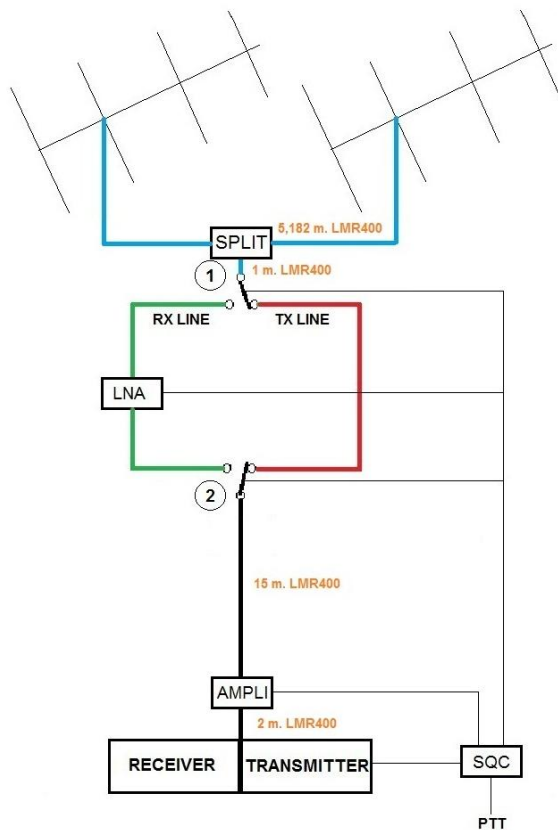


FIGURE - 2

CÁLCULO PÉRDIDAS ESQUEMA 2

1.- PÉRDIDAS ENTRE LA ANTENA Y EL LNA

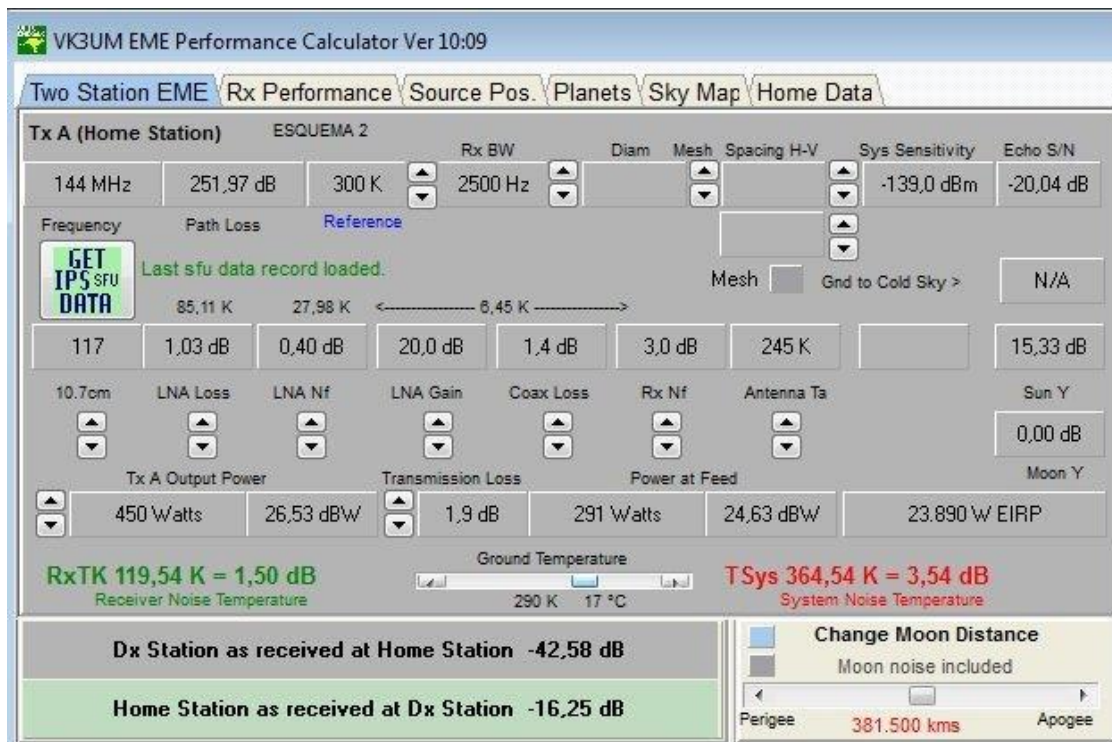
ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
SPLITTER	1	0,5	0,5
LMR-400	6,1822	0,0495	0,30602
RELÉ	1	0,1	0,1
CONECTOR "N"	6	0,02	0,12
TOTAL			1,026

2.- PÉRDIDAS ENTRE EL LNA Y EL RECEPTOR

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
LMR-400	17	0,0495	0,8415
AMPLI	1	0,3	0,3
CONECTOR "N"	6	0,02	0,12
RELÉ	1	0,1	0,1
TOTAL			1,362

3.- PÉRDIDAS EN LA LÍNEA DE TX (AMPLI - ANTENA)

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
SPLITTER	1	0,5	0,5
LMR-400	21,182	0,0495	1,04851
RELÉ	2	0,1	0,2
CONECTOR "N"	8	0,02	0,16
TOTAL			1,909



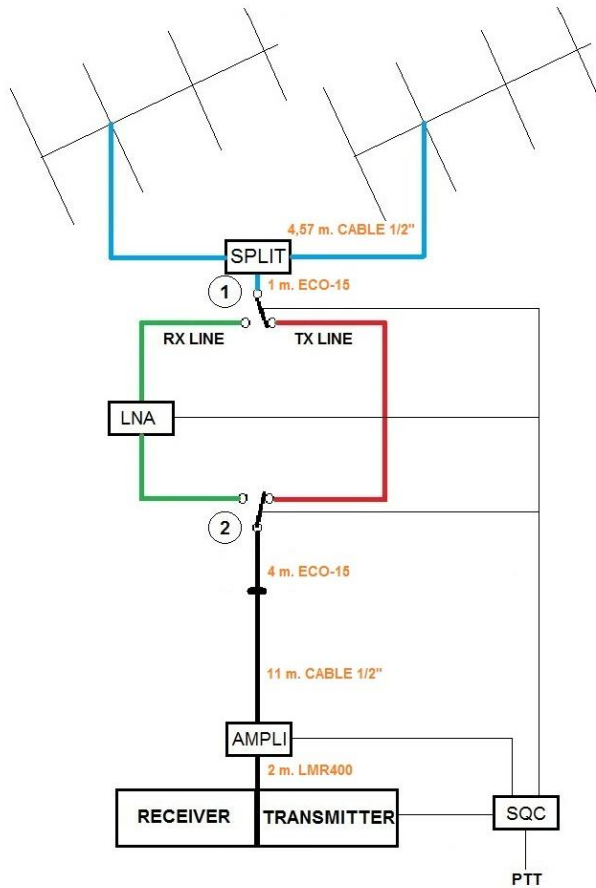
4.- ESQUEMA 3

Nuestra inquietud nos indica que hay que hacer algo, no está bien que de los 450W de nuestro amplificador solo lleguen 291W a las antenas. Esto quiere decir que cuando transmitimos estamos calentando los coaxiales con 159W. Estos datos nos han ofendido profundamente en nuestra meta de tener una instalación eficiente. Determinamos dar un paso importante e instalar mejores cables:

- Decidimos poner la línea de enfase entre la antena y el splitter de cable de ½", y ponemos 5 múltiplos de media longitud de onda eléctrica, que equivale a 4.57m
- Conectamos el splitter con el LNA mediante 1m. de Ecoflex-15
- Para poder pasar el rotor, instalamos después del LNA 4m. de Ecoflex-15, y el resto de cable hasta el amplificador de ½", unos 11m.
- Entre el amplificador y el receptor 2m. de LMR400

Con esta inversión la cifra de Echo S/N es -19.26dB. No parece una mejora importante, pero ahora a nuestra antena llegan 334W, hemos ganado 43W. En recepción hemos ganado 0.17dB, bienvenidos sean!.

CÁLCULO PÉRDIDAS ESQUEMA 3



1.- PÉRDIDAS ENTRE LA ANTENA Y EL LNA

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
SPLITTER	1	0,5	0,5
CABLE 1/2"	4,57	0,0266	0,121562
ECOFLEX 15	1	0,037	0,037
RELÉ	1	0,1	0,1
CONECTOR "N"	6	0,02	0,12
TOTAL			0,878562

2.- PÉRDIDAS ENTRE EL LNA Y EL RECEPTOR

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
ECOFLEX 15	4	0,037	0,148
CABLE 1/2"	11	0,0266	0,2926
LMR-400	2	0,0495	0,099
AMPLI	1	0,3	0,3
CONECTOR "N"	6	0,02	0,12
RELÉ	1	0,1	0,1
TOTAL			1,0596

3.- PÉRDIDAS EN LA LÍNEA DE TX (AMPLI - ANTENA)

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
SPLITTER	1	0,5	0,5
CABLE 1/2"	15,57	0,0266	0,414162
ECOFLEX 15	5	0,037	0,185
RELÉ	2	0,1	0,2
CONECTOR "N"	8	0,02	0,16
TOTAL			1,274162

FIGURE - 3

VK3UM EME Performance Calculator Ver 10:09

Two Station EME Rx Performance Source Pos. Planets Sky Map Home Data

Tx A (Home Station) ESQUEMA 3

Frequency: 144 MHz Path Loss: 251,97 dB Reference: 300 K Rx BW: 2500 Hz Diam: Mesh: Spacing H-V: Sys Sensitivity: -139,2 dBm Echo S/N: -19,26 dB

GET IPS SFU DATA Last sfu data record loaded. Mesh: Gnd to Cold Sky > N/A

71,42 K 27,98 K <----- 5,58 K ----->

117 0,88 dB 0,40 dB 20,0 dB 1,1 dB 3,0 dB 245 K 15,50 dB

10,7cm LNA Loss: LNA Nf: LNA Gain: Coax Loss: Rx Nf: Antenna Ta: Sun Y: 0,00 dB

Tx A Output Power: 450 Watts Transmission Loss: 26,53 dBW Power at Feed: 334 Watts 25,23 dBW 27,429 W EIRP

RxTK 104,98 K = 1,34 dB Receiver Noise Temperature Ground Temperature: 290 K 17 °C T Sys 349,98 K = 3,44 dB System Noise Temperature

Dx Station as received at Home Station -42,40 dB Home Station as received at Dx Station -15,65 dB

Change Moon Distance Moon noise included: Perigee: 381.500 kms Apogee:

5.- ESQUEMA 4

Resulta que en un descuido el secuenciador nos falló, y hemos achicharrado el LNA. ¡Que cabeza la nuestra!, con lo que cuesta un LNA con sus relés. Ante este tropiezo tomamos la decisión de que esto no vuelva a ocurrir, y decidimos instalar líneas separas de RX y TX. Para ello la línea de RX la instalamos idéntica a la de TX (aunque la realidad indica que no hace falta ser tan brutos, pues después del LNA las pérdidas no son tan críticas).

Para reducir todavía más las pérdidas decidimos unir el splitter con el relé de alto aislamiento mediante una transición N-N en lugar de con 1m. de Ecoflex-15, y el relé con el LNA mediante otra transición N-N.

La cifra Echo S/N obtenida es de -19.12dB, solo hemos ganado 0.14dB y 7W más en las antenas. Pero podemos dormir tranquilos pensando que ahora es muy difícil que volvamos a quemar el LNA.

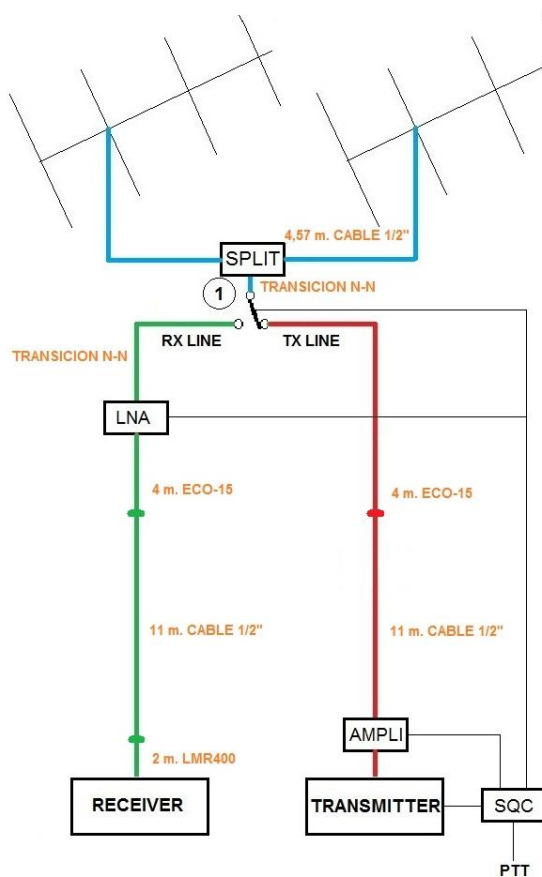


FIGURE - 4

CÁLCULO PÉRDIDAS ESQUEMA 4

1.- PÉRDIDAS ENTRE LA ANTENA Y EL LNA

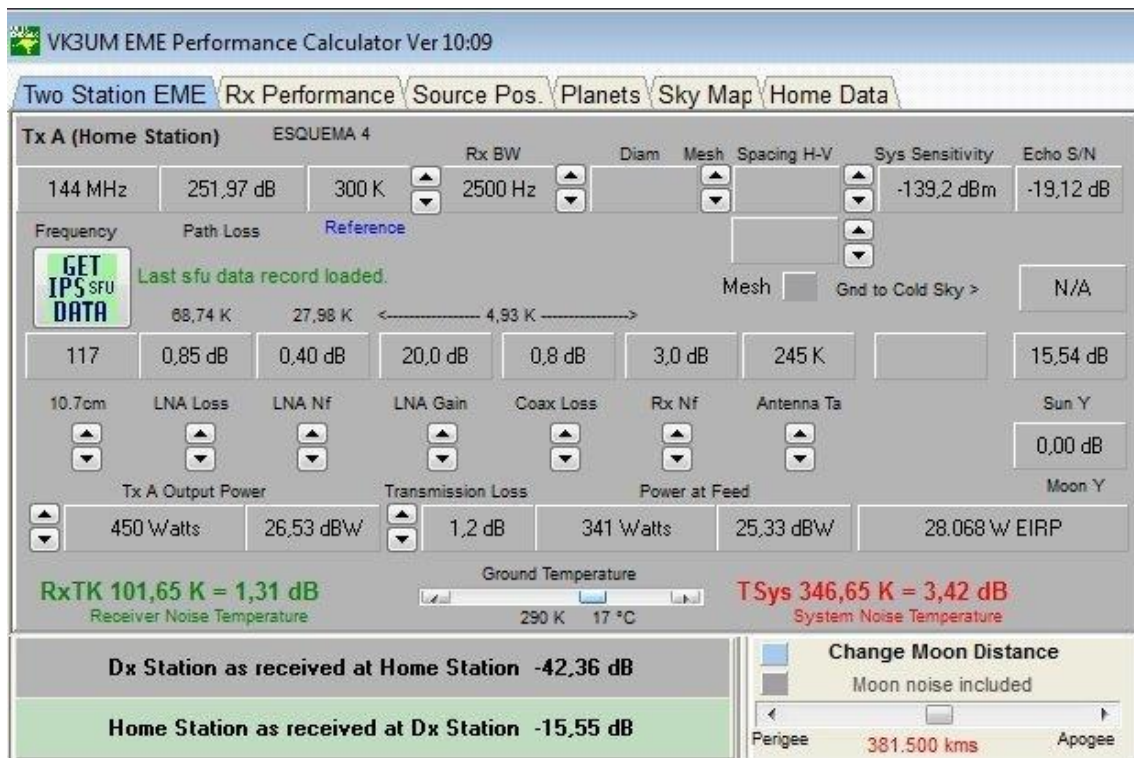
ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
SPLITTER	1	0,5	0,5
CABLE 1/2"	4,57	0,0266	0,121562
RELÉ	1	0,1	0,1
CONECTOR "N"	6	0,02	0,12
TOTAL			0,841562

2.- PÉRDIDAS ENTRE EL LNA Y EL RECEPTOR

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
ECOFLEX 15	4	0,037	0,148
CABLE 1/2"	11	0,0266	0,2926
LMR-400	2	0,0495	0,099
CONECTOR "N"	6	0,02	0,12
RELÉ	1	0,1	0,1
TOTAL			0,7596

3.- PÉRDIDAS EN LA LÍNEA DE TX (AMPLI - ANTENA)

ELEMENTO	CANTIDAD	PERD/UN.	PÉRDIDAS
SPLITTER	1	0,5	0,5
CABLE 1/2"	15,57	0,0266	0,414162
ECOFLEX 15	4	0,037	0,148
RELÉ	1	0,1	0,1
CONECTOR "N"	8	0,02	0,16
TOTAL			1,174162



6.- CONCLUSIONES

Si miramos los números obtenidos en el esquema nº1 y los obtenidos en el esquema nº4, hemos ganado en la cifra Echo S/N dB 4,43dB. Esto es una barbaridad, es como si hubiéramos estado trabajando con una sola antena de 13 elementos. Ahora en realidad, con un sistema bastante optimizado, estamos obteniendo un gran rendimiento de nuestro sistema radiante. Incluso -19.12dB es audible!, podremos entresacar de entre el ruido la musiquilla del JT65.

Traducido en Km, habremos acercado la luna $1517.25\text{Km} \times 4,43 = 6898.61\text{Km}$.

Con una instalación de este tipo ya se puede empezar a disfrutar del Rebote Lunar, pues se empiezan a poder trabajar las expediciones, que suelen ser de dos antenas de 8 elementos.

Todos estos cálculos son extrapolables a otras frecuencias más altas, con solo elegir dicha frecuencia en el programa de cálculo de VK3UM. Si jugáis con él, aprenderéis mucho sobre la optimización de vuestra estación.

Espero no solo veros en la pantalla, si no también poder escuchar vuestras señales una vez han rebotado en la Luna.

Juan Antonio Fernández Montaña
EA4CYQ

Publicado en la revista de la Unión de Radioaficionados Españoles en Diciembre de 2015.